

产品应用案例：CLE-100-485-V 氧化铝陶瓷表面重复精度与静态稳定性实测

材料特性 · 5点重复进给 · 静态稳定性

案例结论：在本次氧化铝陶瓷片样片、单向进给及当前曝光条件下，5个位置共40次重复进给和3×512帧静态采样全部有效。重复进给样本标准差 σ 为0.05~0.68 μm ，峰峰值P-P为0.19~2.03 μm 。

32帧平均重复精度	有效采样
σ 0.05~0.68 μm P-P 0.19~2.03 μm	100.0% 2816/2816帧

以上均为本次样片与测试条件下的实测结果；其中重复进给结果包含运动平台、到位稳定、参考基准和传感器读数的共同影响，不等同于脱离测试系统后的单机规格值。

一、被测材质：氧化铝陶瓷的表面测量特性

氧化铝陶瓷以 Al_2O_3 为主要成分，通常具有硬度高、耐磨、刚度高、耐热、电绝缘和化学稳定性好的特点。这类材料常用于精密结构件、绝缘基板、耐磨件、导轨与密封件，其高度、厚度、台阶、平面度和轮廓尺寸常需要微米级非接触检测。材料本体不易被探头压缩，但硬脆表面不适合反复承受接触测力，因此激光位移测量能在不施加测力的情况下获取表面位置。

材质或表面特征	对激光三角测量的含义	本案例中的观察
高硬度、高刚度、硬脆	非接触测量不施加探针力，可避免划伤、崩边及接触形变干扰	采用激光位移传感器连续取样，未与样片表面接触
常见浅色烧结表面具有漫反射；晶粒、孔隙与磨削纹理会产生散射	660 nm光斑的回波强度和光斑能量分布会随局部微观表面变化	本次重复进给与静态采样共2816帧均取得有效结果，当前样片的回波可被稳定识别
烧结、研磨、抛光状态差异明显	粗糙表面偏漫反射，抛光表面可能增加方向性反射；两者的噪声与安装角敏感性不同	样片纯度、粗糙度及抛光等级未记录，结果只代表本次实物表面
耐热、耐磨且尺寸稳定，但微米级测量仍受温度和装夹影响	材料与治具的温度、倾角、污染及振动会共同改变读数	本次为约9分钟的单向测试，未覆盖温漂、长期稳定性和反向滞回

表面光学解读：CLE系列采用660 nm可见红光的三角测量方式。对氧化铝陶瓷而言，真正决定回波状态的是样片表层的颜色、晶粒/孔隙、粗糙度、抛光程度、污染和入射角，不能仅凭“氧化铝”这一材料名称推断所有批次都会得到相同结果。

二、本次样片与测试条件

项目	本次记录
传感器	CLE-100-485-V，固件V1.20；三角测量式激光位移传感器，660 nm可见红光
被测表面	氧化铝陶瓷片；未记录 Al_2O_3 纯度、颜色等级、表面粗糙度及抛光等级
参考基准	参考光栅；人工确认零点；匹配标定任务辅助零位236.727 mm
重复精度数据	214.949、228.949、242.949、256.949、270.949 mm共5个位置；每位置8次重新进给；每次32帧

项目	本次记录
静态稳定性数据	214.949、242.949、270.949 mm共3个位置；每位置连续512帧；另按32帧划分为16组
采集参数	sens=5, laser=9, 设备avg=2；到位稳定0.8 s
数据方式	重复精度仅采用每次进给的32帧平均值；静态稳定性同时统计原始帧和32帧分组平均结果。

2.1 指标口径

指标	本案例中的定义与读法
重复精度 σ	同一目标位置8次重新进给结果的样本标准差；数值越小，重复到位后的读数越集中。
重复精度P-P	同一目标位置8次结果的最大值减最小值；用于表示本次有限样本内实际出现的读数包络。
静态噪声	目标不重新进给时连续采样的标准差与峰峰值；用于观察短时读数波动及32帧平均的影响。

三、氧化铝陶瓷表面的重复精度实测

在5个目标位置分别执行8次重新进给，每次到位稳定0.8 s后采集32帧。因此，本节描述的是传感器面对同一氧化铝陶瓷片、在不同工作位置重复到位时的系统读数离散。

目标位置/mm	32帧平均 $\sigma/\mu\text{m}$	32帧平均P-P/ μm
214.949	0.65	1.84
228.949	0.34	0.97
242.949	0.68	2.03
256.949	0.27	0.81
270.949	0.05	0.19

32帧平均结果在5个位置的样本标准差 σ 为0.05~0.68 μm ，P-P为0.19~2.03 μm 。其中242.949 mm位置的 σ 和P-P最大，分别为0.68 μm 和2.03 μm ；270.949 mm位置的离散最小， σ 为0.05 μm 、P-P为0.19 μm 。这表明本次氧化铝陶瓷片上的重复读数整体处于微米级，并随工作位置存在差异。

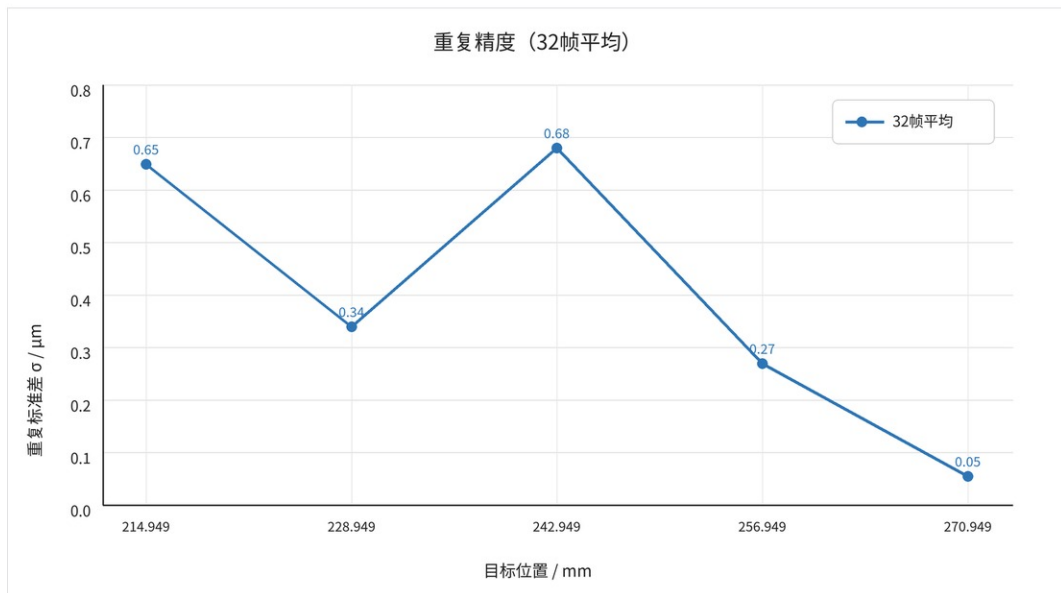


图1 氧化铝陶瓷表面5个位置各8次重复进给的32帧平均结果

重复精度结论：采用每次进给32帧平均值统计，本次样片在5个测试位置上的重复进给 σ 不超过0.68 μm ，P-P不超过2.03 μm 。工程判定应结合实际使用位置，为本次观测到的最差重复波动预留余量。

四、静态稳定性：不同工作位置的波动差异

静态采样用于补充说明重复精度中的短时读数波动。3个位置各连续采集512帧，且全部有效；再将每个位置的512帧按32帧划分为16组，以观察平均后的组间稳定性。

目标位置/mm	原始帧 $\sigma/\mu\text{m}$	原始帧P-P/ μm	32帧平均 $\sigma/\mu\text{m}$	32帧平均P-P/ μm
214.949	6.05	25.60	3.37	11.85
242.949	0.42	4.30	0.15	0.58
270.949	0.25	1.60	0.11	0.41

在242.949 mm与270.949 mm位置，32帧平均后的组间 σ 分别为0.15 μm 和0.11 μm ；在214.949 mm位置为3.37 μm 。这说明当前样片上的短时稳定性具有明显的位置相关性。由于3个位置均为100%有效采样，214.949 mm处表现为读数波动增大，而不是数据丢失。仅凭本次数据不能把该差异归因于氧化铝材料本身；工作距离、光斑落点、局部表面纹理、回波强度、安装角和机构状态都可能共同影响结果。

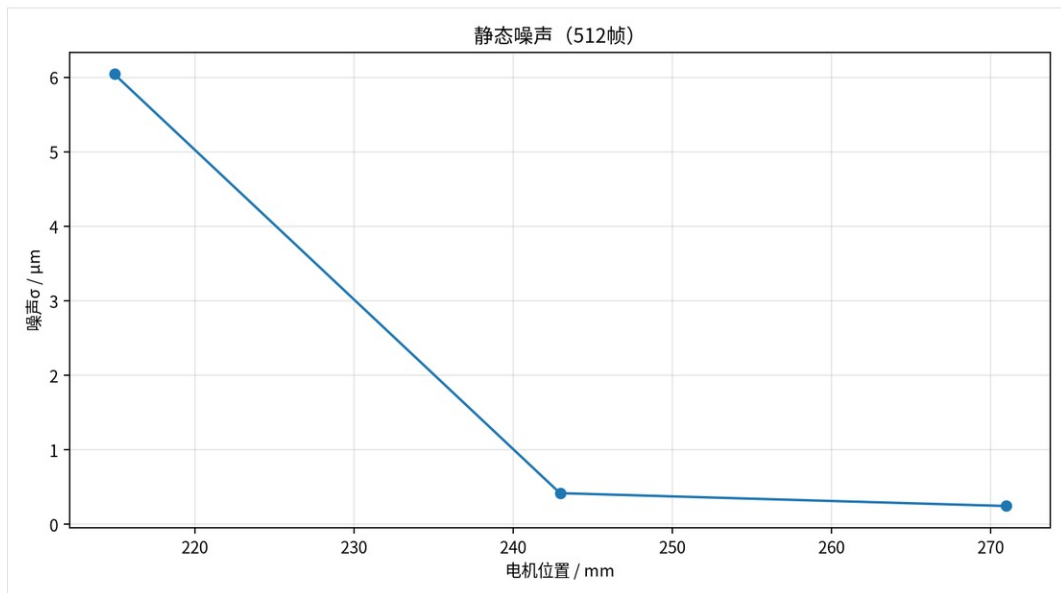


图2 氧化铝陶瓷表面3个工作位置的静态噪声

五、案例数据结论与适用边界

- 重复精度：5个位置各8次重新进给后，32帧平均的 σ 为0.05~0.68 μm ，P-P为0.19~2.03 μm 。
- 表面适配：本次重复进给与静态采样共2816帧全部有效，说明当前氧化铝陶瓷片在既定安装与曝光参数下可形成可用回波；但静态波动随工作位置变化，实际布置应在计划使用的距离和样片区域重新确认稳定性。
- 适用边界：样片纯度、颜色、粗糙度、抛光等级和温度未记录；测试仅覆盖1台传感器、1件样片、单向短时采集，不包含反向滞回、温漂、长期稳定性、不同倾角或不同批次材料。因此，本案例应作为同类表面选型与参数设定的实测参考，不能直接替代具体工件的样件验证。

数据来源：桌面/测试记录（测试日期：2026-07-21） | 统计口径：样本标准差 σ 、峰峰值P-P